



TITLE:

SQUID-NMRによる多孔質ガラス中の ^3He の磁化の緩和および固体-液体転移の研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

近藤, 康

CITATION:

近藤, 康. SQUID-NMRによる多孔質ガラス中の ^3He の磁化の緩和および固体-液体転移の研究. 京都大学, 1989, 理学博士

ISSUE DATE:

1989-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k4317>

RIGHT:

氏 名	こん とう やすし 近 藤 康
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 1206 号
学位授与の日付	平 成 元 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	SQUID-NMR による多孔質ガラス中の ^3He の磁化の緩和および固体-液体転移の研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 恒 藤 敏 彦	教 授 端 恒 夫	教 授 遠 藤 裕 久
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、SQUID・NMR 法を用いて、超低温における多孔質ガラス中の液体 ^3He に関して、その核スピン緩和の機構および液体・固体の相転移を研究したものである。

申請者は、細孔径 18 nm と 4 nm の 2 種類の多孔質ガラス中に液体 ^3He を閉じ込めたものをサンプルとして用い、4.2 K から 2.5 mK の広い温度範囲で SQUID・NMR 法により、 ^3He の核磁化とその緩和時間を測定している。実験技術的には、申請者は、第一に超低温を生成するための ^3He — ^4He の希釈冷凍機（最低温度；18 mK）とそれに続くボメランチック冷凍機（最低温度；2.5 mK）を自作した。第二に、SQUID・NMR 法に関しては、緩和時間の周波数依存性を測定するために必要な静磁場を超伝導円筒にトラップするのではなく、永久電流モードで使用する超伝導コイルにより生成するように工夫を行っている。第三に、通常の SQUID・NMR においては縦磁化の変化を直接に検出できるので、縦緩和時間、 T_1 の測定に適しているが、申請者は SQUID・NMR 法に修正を加えてスピンエコー信号を検出して横緩和時間、 T_2 をも測定できるようにしている。

以上のような実験手段を用いて、液体 ^3He についてその縦緩和時間 T_1 の温度依存性と周波数依存性と細孔径依存性に関してはそれが、固体表面に吸着された ^3He の磁化と全磁化の比を与える“Hammel-Richardson 因子”によって説明されることを確認している。ついで、この Hammel-Richardson 因子を取り除いた表面緩和率は温度には依存せず 50 kHz から 8 MHz という広い周波数範囲にわたって測定周波数の逆数に比例することを確認している。又、その比例係数が ^3He スピン間の双極子相互作用の二次モーメントのオーダーであることを示している。

ついで、申請者はこのような実験事実を説明する簡単なモデルを提案している。即ち、細孔内の壁面には常磁性的にふるまう固体 ^3He の表面層があり、 ^3He 準粒子が液体層とこの固体表面相の間を動き回っているとし、表面層にいる間だけまわりの ^3He スピンとの双極子相互作用を感じると考える。この表面層における滞在時間が時間的に変動する双極子相互作用の相関時間を与える。この相関時間が適当な分布

を持つとして縦緩和時間, T_1 の表式を求めているが, これは上に述べた総ての実験事実(温度, 細孔径, 周波数依存性)を説明するものである。横緩和時間, T_2 に関しても, 実験的には測定周波数に依存しないことを見いだしているが, 上に述べたモデルはこの実験事実も説明するものである。申請者は, 更に内部の ^3He が総て固体である場合および細孔の表面に1層だけの吸着層がある場合の実験もおこない, その結果も上に述べたモデルで統一的に説明されることを示している。

又, 申請者は ^3He の核スピン緩和時間の変化と核磁化の変化を利用して多孔質ガラス中での ^3He の固体・液体相転移を検出し, 多孔質ガラス中での ^3He の相転移の P (圧力)– T (温度) 相図を超低温度に至るまで決定している。特に, 18 nm の試料においてはその相図において温度 0.3 K 付近で融解圧の極小を見いだしている。4 nm の試料においては細孔中での融解圧が高く, 又融解・固化の間のヒステシスが大きくこのような融解圧の極小は観測していない。

論文審査の結果の要旨

多孔質ガラス等の細孔の中に閉じ込められたヘリウムはバルクのヘリウムとは非常に異なった性質を示すので多くの研究者の興味を集めている。申請者は, このうち特に, 細孔中の液体 ^3He の核スピン緩和機構と液体・固体相転移について研究している。

細孔中の液体 ^3He の核スピン緩和に関しては, そのスピン緩和時間はバルクの液体 ^3He の緩和時間に比べて非常に短くなっており, 表面緩和機構が重要な役割を果たしていることは知られていた。この表面緩和機構については, 既に多くの実験的研究があり, 又, いくつかのモデルが提案されていたが, 全体を統一的に理解するような満足な理論はなかったのである。申請者は, SQUID・NMR 法を用いて, 実験的にこの問題を研究し, 又総ての実験事実を満足に説明する新しいモデルを提案している。

実験的には, 細孔径の異なる2つの多孔質ガラスをサンプルとして用意し, ^3He – ^4He 希釈冷凍機と Pomeranchuk 冷却機を自作して広い温度範囲および広い周波数範囲にわたっての ^3He の縦緩和時間の測定を行っている。このように, 緩和時間の細孔径依存性, 温度依存性, 周波数依存性, の統一的, 組織的なデータは申請者が初めて得たものである。特に, 低周波数で高感度であること, NMR 検出用の同調回路が不用であるという SQUID・NMR 法の特色を最大限に利用している。又, SQUID は本来磁束を高感度で検出するものであるので SQUID・NMR においては直接には核磁化の変化を検出する。従って, SQUID・NMR 法は核磁化の値及び縦緩和時間の測定には極めて適した方法であるが, スピンエコーの検出や横緩和時間の測定は行われていなかった。申請者は工夫をこらして SQUID・NMR 法で初めてスピンエコー信号の観測に成功し, 横緩和時間の測定も行っている。

次いで, これらの実験事実を説明する簡単なモデルを提唱している。細孔中での ^3He に関しては, 細孔の表面に固体 ^3He の層があること, 又これが細孔中の ^3He の縦緩和時間に影響を与えていることは知られていたが, 緩和時間を統一的に理解する理論はなかった。申請者は細孔中の ^3He について, 液体と表面層を含めて全体の ^3He を統一的に取り扱い, 変動する双極子磁場の相関時間として ^3He 準粒子の表面層での滞在時間を取り, 緩和時間の表式を得ている。申請者が得たこの表式は緩和時間の細孔径, 温度, 周波数依存性をすべて満足に説明するものである。実験データを解析して, 表面層での滞在時間の上限と

下限を推定しているが、このような量も申請者によって初めて得られた。

申請者は、又 ^3He の帯磁率と縦緩和時間の測定をもとにして、細孔中での ^3He の固体・液体相転移の相図を決定し、特に、18 nm の細孔中では相図に融解圧の極小があるのを観測している。これは 18 nm の細孔中において液体 ^3He がフェルミ縮退を始めたためであるが、細孔中の ^3He についてこのような融解圧の縮小を観測したのは申請者が初めてである。

以上をまとめれば、SQID・NMR 法を用いて細孔中の ^3He の核スピン緩和に関して詳細な実験を行い、それを説明する統一的な理論を提唱したものであり、これにより細孔中での ^3He の運動について新しい重要な知見を加えたといえる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。